



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Evaluering af dynamisk døgnrytmebelysning

ELFORSK 351-041 Sluttrapport

Osterhaus, Werner ; Erhardtsen, Inger; Stoffer, Sophie; Markvart, Jakob; Gkaintatzi-Masouti, Myrta; Nielse, Kathrine Gert; Støttrup, Kasper Fromberg; Derengowski, Nikodem; Reinholdt, Per

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
2021

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Osterhaus, W., Erhardtsen, I., Stoffer, S., Markvart, J., Gkaintatzi-Masouti, M., Nielse, K. G., Støttrup, K. F., Derengowski, N., & Reinholdt, P. (2021). *Evaluering af dynamisk døgnrytmebelysning: ELFORSK 351-041 Sluttrapport*. https://elforsk.dk/sites/elforsk.dk/files/media/dokumenter/2021-03/351-041_SLUTRAPPORT.pdf

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

EVALUERING AF DYNAMISK DØGNRYTMEBELYSNING

ELFORSK

351-041 Sluttrapport



Werner Osterhaus
Inger Erhardtsen
Sophie Stoffer
Jakob Markvart
Myrta Gkaintatzi-Masouti
Kathrine Gert Nielsen
Kasper Fromberg Støttrup
Nikodem Derengowski
Per Reinholdt



ELFORSK
351-041 Sluttrapport
Aarhus Universitet, Aalborg Universitet, AFRY,
IVE Rådgivning, Moto Muto & Dansk Center for Lys



INDHOLD

FORORD	6
1 INDLEDNING	7
1.1 Resume - Opnåede resultater	7
1.2 Baggrund	7
1.3 Formål	8
1.3.1 English summary af resultater	8
1.4 Metode	9
1.4.1 Casestudies	9
1.4.2 Visuelle tests	9
1.4.3 Energiforbrug	9
1.5 Temadag med workshop	9
2 CASESTUDIER	11
2.1 Introduktion til casestudierne	11
2.1.1 Metode/målestrategi	11
2.2 Vikærgården korttidsopholdssted for rehabilitering	11
2.2.1 Beskrivelse	12
2.2.2 Resultater fra Vikærgården	12
2.3 Psykiatrien i Slagelse	14
2.3.1 Beskrivelse	14
2.3.2 Resultater	14
2.4 Overordnede konklusioner	16
3 VISUELLE TESTS	17
3.1 Introduktion til studiet	17
3.1.1 Anvendt metode	17
3.2 Sammendrag af resultater	19
3.3 Overordnede konklusioner	20
4 ENERGIFORBRUG BASERET PÅ CASESTUDIER	21
4.1 Beregninger fra casestudier	21
4.1.1 Vikærgården	21
4.1.2 Psykiatrien i Slagelse	22
4.1.3 Psykiatrien i Skejby	24
4.1.4 Overordnede konklusioner	25
5 SAMLET KONKLUSION	26
6 SKEMA MED ANBEFALINGER VED ETABLERING AF DØGNRYTMEBELYSNING	28

FORORD

Med dette projekt har vi ønsket at undersøge og kortlægge erfaringer og data fra forskellige udvalgte belysningsanlæg med dynamiske egenskaber, som allerede er installeret i det danske sundhedsvæsen.

På nuværende tidspunkt er der ingen klare retningslinjer for lystekniske egenskaber eller energirammer, som disse belysningsanlæg skal leve op til, da de ofte kategoriseres som særbelysning.

I projektet undersøges udvalgte belysningsanlæg med henblik på at indsamle data om, hvordan de performer, på bl.a. energi- og lystekniske aspekter. På længere sigt kan disse data indgå i forbindelse med udarbejdelse af retningslinjer for dynamiske døgnrytmeanlæg, både hvad angår økonomi, energi, drift, lystekniske og sundhedsmæssige kvaliteter. Som det er i dag, er det ikke et krav, at særbelysning (som f.eks. dynamiske døgnrytmebelysningsanlæg) skal leve op til de gældende energikrav i henholdsvis energi klasse 2015 og 2020, men det må anses som nødvendigt at definere et maksimalt energiforbrug for disse anlæg.

Anlæggene er ligeledes undersøgt for brugervenlighed, anvendelsesgrad og tilfredshed ved den efterfølgende daglige brug.

Lysstyring og lysdesign forventes i højere grad i fremtiden at inddrage aspekter ud over hvad nuværende gældende standarder foreskriver, f.eks. hvordan lyset opleves eller opfattes og i det hele taget påvirker os mennesker, frem for hvor meget lys der reelt er på den horisontale arbejdsflade. I nærværende projekt har vi derfor også undersøgt sammenhænge i opfattet rumlig lysopfattelse ved belysning af vertikale eller horisontale overflader.

Resultaterne indsamlet i projektet formidles bl.a. ved hjælp af et skema, der skal bidrage med anbefalinger for "Best practice"-løsninger indenfor døgnrytmebelysningsanlæg. Skemaet vil komme ind på krav vedr. energiforbrug, økonomi, brugervenlighed, drift og vedligehold samt anbefalinger til lystekniske kvaliteter som grundlæggende information ved etablering af fremtidige energioptimerende døgnrytmebelysningsanlæg.

Tak til Allan Pedersen fra Moto muto for deltagelse i projektet med bidrag i forbindelse med styringer, målinger og input til anbefalinger. Ligeledes en tak til AFRY-medarbejdere i Aarhus for deltagelse i test omkring rumlig lysopfattelse ved belysning af vertikale eller horisontale overflader samt til Jannie Schauer for det store arbejde med filmen som blev brugt på Lysets Dag.

1 INDLEDNING

1.1 Resume - Opnåede resultater

Ved nærmere undersøgelser af energimæssige forhold på belysningsanlæg med døgnrytmebelysning, fandt vi i indtil flere tilfælde manglende etableret dagslysregulering og kun tilstedeværelsessensorer i begrænset omfang. Dette har stor betydning for bygningens energiforbrug, da lyset flere steder er tændt i perioder, hvor det er unødvendigt.

Hvor standard belysningsanlæg sammenlignes med døgnrytmebelysningsanlæg, viser det sig ved beregninger, at det ved brug af dagslysregulering og tilstedeværelsessensorer, er muligt at opnå el-besparelser på 18-39 %, når der tages højde for timeforbrug og armaturernes faktuelle forbrug af watt. I rapporten fremstilles sammenligninger mellem etablerede anlæg, standard belysningsanlæg og anlæg med krævede/anbefalede dagslys- og tilstedeværelses-sensorsystemer.

Ved granskning af spørgeundersøgelserne fandt vi, at brugere generelt er tilfredse med døgnrytmebelysningen, men der er et stort behov for bedre information og kommunikation omkring formålet og brugen ved implementering af døgnrytmebelysning.

Oplevelsen af rumlig lysopfattelse ved belysning af vertikale eller horisontale overflader er ligeledes undersøgt. Tests med kalibrerede visualiseringer, viste at man ved belysning af vertikale vægflader med indirekte belysning af gulvplanet, vil kunne sænke de horisontale belysningsstyrker (lux-niveauer), og stadig opnå samme lysopfattelse, som i referencescenerier med direkte belysning fra downlights. Denne viden vil kunne inddrages i fremtidige undersøgelser og videreudvikling og design af døgnrytme-belysning.

Resultater fra undersøgelser og målinger foretaget, har bidraget til udformningen af et skema med anbefalinger for fremtidige "best practice"-løsninger indenfor døgnrytmebelysningsanlæg for bygherre og projekterende.

1.2 Baggrund

Selvom der på nuværende tidspunkt er udført flere anlæg med dynamisk døgnrytmelys i Danmark, forelægger der ikke danske forskrifter, standarder eller vejledninger, der beskriver teorier eller principper for udførsel af dynamisk belysning. Derfor vil udgangspunktet for sådanne anlæg ofte være de samme som for "almindelige belysningsanlæg". Nærværende projekt skal bidrage med viden til udarbejdelse af fremtidige forskrifter både for belysningsanlæg og for intelligente styringsmetoder.

Dette vil bidrage med ny viden og vil skabe et bedre udgangspunkt for bygherrer ved etablering af nye dynamiske døgnrytmebelysningsanlæg i fremtiden.

Dynamisk Døgnrytmelys, på engelsk Circadian lighting (Fra latin circa=tilnærmelsesvis og dies=dag) refererer generelt til belysningsinstallationer, der efterligner forløbet af en dag med dens naturlige variationer. Døgnrytmelys belysning er således dynamisk af natur. Imidlertid er andre dynamiske belysningsinstallationer også blevet beskrevet som døgnrytmebelysning. Integrativ belysning er et udtryk, der for nylig blev introduceret af Den Internationale Kommission for Belysning (CIE) for at beskrive belysning specielt designet til at give en gavnlig fysiologisk og / eller psykologisk effekt på mennesker. Udtrykkene circadian og integrativ belysning bruges nu ofte i flæng. Gennem hele dette projekt har vi dog valgt at bruge udtrykket døgnrytme- belysning, da projektet oprindeligt er ansøgt til at evaluere dynamisk døgnrytmebelysning, der er beregnet til at understøtte den naturlige søvn- og vågecyklus hos mennesker.

1.3 Formål

Formålet med projektet er at bidrage med en underbygget viden baseret på dokumentation, som vil kunne anvendes i forbindelse med beslutningstagning ved etablering af nye anlæg med dynamisk døgnrytmelys. Det er vigtigt at belyse såvel den daglige praktiske anvendelse, døgnrytmebelysningens visuelle effekt på brugeren, de lystekniske kvaliteter samt de energimæssige aspekter.

Dette vil blive undersøgt og dokumenteret ved dels at registrere direkte på udvalgte steder og dels ved at undersøge den visuelle oplevelse af lysniveauer ved forskellige lysscenerier.

Det forventes, at den visuelle oplevelse af lyset har en indirekte indvirkning på energiforbruget. Det teoretiske udgangspunkt er, at der skal anvendes mere effekt til at skabe det samme målte belysningsniveau horisontalt i et rum med indirekte lys på vægflader som ved brug af direkte nedadrettet lys. Om aftenen/natten anvendes lavere belysningsniveauer, og rummene vil – igen ud fra det teoretiske udgangspunkt - virke lysere med indirekte belyste vægge. Vil denne fordel kunne opveje et større installeret effektforbrug?

De forskellige udvalgte døgnrytmebelysningsløsninger sammenlignes derfor både på det samlede årlige energiforbrug, og med lignende belysningsanlæg uden døgnrytmelys som typisk anvendes i bl.a. energiklasse 2015 og 2020 byggerier.

Disse data for energi, belysningskvalitet og erfaringer ved dagligt brug, vil efterfølgende kombineret kunne indgå som anbefalinger i forbindelse med valg mellem de forskellige løsningsprincipper for dynamisk døgnrytmebelysning.

1.3.1 English summary of results

Our review of the circadian lighting systems showed a lack of daylight-responsive lighting controls in most cases assessed. Presence/occupancy detectors were installed in only a few cases. This had a substantial impact on lighting energy use, as electric lighting was switched on during periods during which it would not be necessary.

When we compared standard lighting installations with circadian lighting installations through energy calculations with actual operating hours and the installed power (W) of the lighting systems, we could show that the implementation of daylight-responsive control systems and presence detectors could save between 18 and 39 percent of the building's energy for lighting. We presented comparisons between the actually installed circadian systems, standard lighting systems, and systems with the required and recommended daylight-responsive controls and presence/occupancy detection.

When analyzing the user surveys, we found that most staff users were generally satisfied with the circadian lighting system. At the same time, we observed a great deal of desire for better information and communication/education about the purpose and use of the circadian lighting systems by nearly all staff members in the institutions assessed.

We also investigated perceived spatial brightness when illuminating vertical or horizontal surfaces in a room. Test with calibrated virtual images showed that lighting vertical surfaces in a room – that then reflected light back into the room – allowed for lower illuminance levels (lux) on the horizontal plane (e.g. the floor) while still achieving the same perceived spatial brightness as with a reference scenario with direct lighting from downlights. We attribute this to the circumstance that vertical surfaces typically dominate our visual field, especially when seated or standing. This knowledge can be included in future studies and the ongoing development and design of circadian lighting.

To provide guidance to clients and designers wanting to establish circadian lighting systems in future buildings, we provided an overview of “best practice” solutions and recommendations based on our measurements and user surveys during the case studies, as well as the virtual lighting tests.

1.4 Metode

1.4.1 Casestudies

For at kunne sammenligne forskellige eksisterende belysningsløsninger skal det kortlægges, hvorledes installationer og effektforbrug er fordelt på to udvalgte eksisterende anlæg. Dette gøres via casestudies på to forskellige anlæg på Vikærgården, som er et korttidsopholdssted for rehabilitering og på Psykiatrien i Slagelse. Her indhentes bl.a. følgende data gennem dataindsamling fra projektmateriale, målinger, beregninger og simuleringer - eksempler.:

- Registrering og beskrivelse af lysstyringssystemer og dagslysforhold
- Registrering og indsamling af data fra monitorering og datalogning på de udvalgte projekter
- Indsamling af kvalitative data gennem spørgeskemaer af teknikere og relevant personale
- Supplerende beregninger og simuleringer

1.4.2 Visuelle tests

Med udgangspunkt i de udførte casestudies og med fra input fra afholdt workshop om døgnrytmelys i maj 2019, udarbejdes protokoller for laboratorietest/fuldskala tests af visuel oplevelse af dynamisk døgnrytmebelysning. Her undersøges den subjektive opfattelse af lyskvalitet, belysningsniveauer og belysningen som helhed. Forsøgene adresserer forholdet mellem sundhedsfremmende biologisk belysning, brugeradfærd, lysteknisk kvalitet og den visuelle oplevelse af lyset og farver under både fuld- og ikke fundspektret belysning. Der defineres et sæt vurderingsaspekter i forhold til visuel perception med udgangspunkt i det danske sundhedsvæsen, der tilgodeser både patienter og medarbejderes behov til studiet.

1.4.3 Energiforbrug

Med udgangspunkt i de indsamlede data vil der blive udført energiberegninger, hvor dagslys, elektrisk lys og lysstyring beregnes i energimæssig sammenhæng. Dette resulterer i samlede energiberegninger (LENI-tal), som efterfølgende kan sammenlignes med erfaringstal fra andre belysningsanlæg uden døgnrytmelys. Formidling og Temadag

1.5 Temadag med workshop

Der blev afholdt en Temadag i maj 2019 med ca. 100 deltager, hvor status og potentialer for døgnrytmelys blev præsenteret. Temaet på dagen var "Hvad ved vi egentlig om døgnrytmelys?" og var arrangeret i samarbejde med projektlederne for projektet EUDP17-II Integrated Solutions for Daylight and Electric Lighting, som bidrog væsentligt med timer og midler. De primære målgrupper for temadagen repræsenterede også målgruppen for projektsresultaterne: Rådgivende ingeniører, lysplanlæggere, facility managers, bygherrerådgivere, driftschefer, producenter m.v. Flere eksempler og erfaringer fra dagen er anvendt i forbindelse med udarbejdelsen af spørgeskemaer og valg af undersøgelsesmetode for visuelle tests.

Projektet er ud over flere oplæg på LinkedIn også blevet præsenteret online på LYSETS DAG den 26. oktober 2020, og i den forbindelse blev der lavet en film om projektet. Opslag er lagt på LinkedIn: <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6737682264865472512>, Og: <https://www.facebook.com/danskcenterforlys/posts/199563328285446> og Instagram under brugeren Lysetsdagdcl. Filmen kan ses på Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=QPqsiQ8RYaM&feature=youtu.be>



Figur 3.1 Indlæg på temadag Foto: Anne Bay DCL.

PROGRAM & ÅBNING AF TEMADAG

GRAVERS SIMONSEN, PROJEKTCHIEF BYGGEREFERORENINGEN

CIRCADIAN LIGHT - SENSE AND NONSENSE, KNOWN AND UNKNOWN

YVONNE DE KORT PROFESSOR I MILJØPSYKOLOGI, EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

STATUS OG PERSPEKTIVER PÅ LYSSTYRING

INGER ERHARDTSEN, SENIOR LIGHTING INGENIØR

SPOR 1: LYSSTYRING I PRAKSIS:	SPOR 2: DØGNRYTMELYS I PRAKSIS:
COMMISSIONING OG FUNKTIONS AFPRØVNING <i>MICHAEL ANDREASEN, MARKEDSCHEF COMMISSIONING, AFRY</i>	CASE, DØGNRYTMELYS PÅ NYT HOSPITAL <i>NIELS B ALLER, DRIFTSCHEF PSYKIATRIEN , REG.MIDTJYLLAND</i>
LYSSTYRING TRENDS OG MULIGHEDER <i>MARC FONTOYNONT, PROFESSOR, BUILD AAU_CPH</i>	DØGNRYTMELYS OG ENERGIBESPARELSER <i>WERNER OSTEHAUS PROF. INSTITUT FOR INGENIØRVIDENSKAB (DAY)LIGHTDESIGN. INGER ERHARDTSEN & SOPHIE STOFFER FORSKNINGSASSISTENT BUILD AAU_CPH</i>
DISKUSSION <i>PUBLIKUM OG PANEL AF OPLÆGSHOLDERE</i>	DISKUSSION <i>PUBLIKUM OG PANEL AF OPLÆGSHOLDERE</i>
KRAV TIL ANLÆGGET <i>CASPER KOFOD, CIVILING. HD, ENERGI PIANO & ANNE BAY, DCL</i>	DOKUMENTATION & BEREGNINGSMETODER <i>EIK LYKKE NIELSEN CIVILINGENIØR INTEGRERET LYSDESIGN</i>
ERFARINGER MED LYSTERAPI <i>ALI AMIDI PHD, ADJUNKT I NEUROVIDENSKABELIG PSYKOLOGI, PSYKOLOGISK INSTITUT, AARHUS UNIVERSITET</i>	
LYS OG PRODUKTIVITET I KONTORMILJØER <i>WERNER OSTERHAUS PROFESSOR, INSTITUT FOR INGENIØRVIDENSKAB - (DAY)LIGHTING DESIGN, AU SOPHIE STOFFER FORSKNINGSASSISTENT, SBI AAU_CPH</i>	
FÆLLES WORKSHOP - SPØRGSMÅL, IDEER, PROBLEMER, ERFARINGER <i>FACILITERET AF ANNE BAY DIREKTØR, DANSK CENTER FOR LYS</i>	
NETVÆRK OG OPSAMLING	

2 CASESTUDIER

2.1 Introduktion til casestudierne

De to casestudier er udført på **Vikærgården**, som er et korttidsopholdssted for rehabilitering i Aarhus, og på det **Psykiatriske Hospital i Slagelse**. For begge belysningsanlæg er der indsamlet data for, hvordan anlæggene performer indenfor bl.a. energi og lystekniske egenskaber. Indsamling af data for de to casestudier er baseret på en tilsynsprotokol udarbejdet af IEA SHC Task 50 til undersøgelse af dagslys og elektrisk belysning. Et kandidatspecialeprojekt ved Aarhus Universitet var tilknyttet casestudiet på Vikærgården. Udførlig rapport af de to casestudier (på engelsk) kan findes i hovedbilag 3.

2.1.1 Metode/målestrategi

På Vikærgården blev der foretaget målinger på stedet, automatiske målinger samt spørgeskemaundersøgelser med semi-strukturerede interviews. Hvor medarbejdere, fortrinsvis aften- og nattevagter, blev interviewet. Den semi-strukturerede tilgang gjorde, at deltagerne kunne kommentere og dele deres tanker erfaringer og viden uden at være begrænset af den anvendte interviewguide, som ses i Tabel 2-1. Målingerne blev udført af to omgange i løbet af 2019 i marts og november. Målingerne indeholdt luminansfordeling i rum, belysningsstyrke målt i lux (vertikalt, horisontalt og cylindrisk) og spektralfordelinger. Grundet coronaforanstaltninger blev der udført telefoniske semi-strukturerede interviews af 13 medarbejdere for at evaluere opfattelsen af lyset, og hvordan det påvirker deres arbejde og borgernes velbefindende.

På Psykiatrien i Slagelse omfattede undersøgelserne udførte målinger og semi-strukturerede interviews. Målinger i patientstue og interviews af syv ansatte (fortrinsvis aften og nattevagt) foretaget i februar 2020. Målingerne inkluderede luminansfordeling i rum, horisontale og vertikale belysningsstyrker (lux) i udvalgte punkter og spektralfordelinger.

Et guidet spørgeskema blev anvendt som interviewguide, inddelt i forskellige kategorier, som er gengivet i Tabel 2-1.

Tabel 2-1 – Opsummering af interviewguiden

INTERVIEW GUIDE KATEGORI	BESKRIVELSE
IDENTIFIKATION	Generel information om deltagere
LYSINSTILLINGE OG INTRODUKTION	Virkemåde og anvendelighed af døgnrytmebelysningssystemet
VISUELLE OPLEVELSER	Hvordan opleves lyset i forskellige typer af rum
PÅVIRKNING AF PERSONALETS DØGNRYTME	Selvevaluering af parametrenes indflydelse relateret til personalets døgnrytme - f.eks. søvnkvalitet og energiniveauer
PÅVIRKNING AF BORGERNES DØGNRYTME	Personalets evaluering af parametrenes indflydelse relateret til borgernes døgnrytme (f.eks. søvnkvalitet og energiniveauer)
FØLELSESMÆSSIG EFFEKT	Hvordan føles det at være i rum med den installerede døgnrytmebelysning
UNDERVISNING OG IMPLEMENTERING	Muligheder for læring og udfordringer

2.2 Vikærgården korttidsopholdssted for rehabilitering



Figur 2-1 - I stueetagen ses det nye LED-belysningssystem på 1. og 2. sal ses den eks. belysning med kompaktlystofør

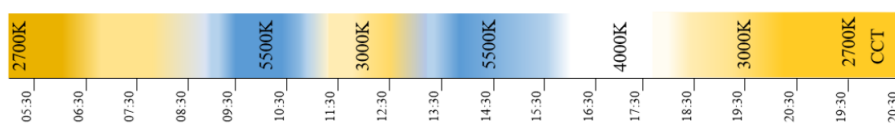


Figur 2-2 - Sengestuen, hvor fotometriske målinger er foretaget til den videre analyse Foto: Werner Osterhaus

2.2.1 Beskrivelse

Vikærgården, et center for korttidspladser er lokaliseret i Aarhus, Danmark. Centeret er for borgere under rehabilitering efter endt operation eller fysisk skade. Disse patienter har typisk brug for ekstra sundhedspersonale hele døgnet. Centeret er udstyret med to forskellige belysningsystemer. Nogle patientstuer er belyst med eksisterende traditionelle kompaktlysstofrør (CFL) og andre med et nyt LED døgnrytmebelysningsystem, som er programmeret til at ændre lysstyrke, farvetemperatur og spektralfordeling hen over dagen (Figur 2-3). Det nye LED belysningsanlæg skal medvirke til at støtte borgernes døgn-/ søvnrytme ved brug af passende lysmængde og lysfarve for belysningen på forskellige tidspunkter af dagen. Om morgenen ønskes et forøget energiniveau og opmærksomhed, og om aftenen ønskes den modsatte effekt, hvor mere afslappethed og god melatoninniveau med biologisk respons skal sikre bedre søvn mønstre og søvnkvalitet.

Fra et energimæssigt perspektiv er det dog bemærkelsesværdigt, at anlægget ikke er udstyret med dagslysstyring, selvom dette er et foreskrevet krav jf. § 382 i bygningsreglementet BR18.



Figur 2-3 – Skematisk fremstilling af døgnrytmebelysindstillingen

Med det nye belysningsanlæg er også anvendt manuelt styrede belysningsscenarier til at hjælpe personalet med bedre pleje af borgerne. Det er målsætningen at opnå bedre søvn, som kan medvirke til en kortere indlæggelsesperiode og en mere komfortabel hverdag for både borgere og ansatte. Belysningsscenarierne **Lysterapi**, **Natpleje** og **Beroligende** blev sammenlignet med den eksisterende belysning med **CFL** (kompaktlysrør), som dannede basis for undersøgelserne i dette studie fra Vikærgården.



Figur 2-4 – De fire lysscenarier, fra venstre: 1) CFL (eksisterende), 2) Lysterapi, 3) Natpleje og 4) Beroligende Foto: Werner Osterhaus

2.2.2 Resultater fra Vikærgården

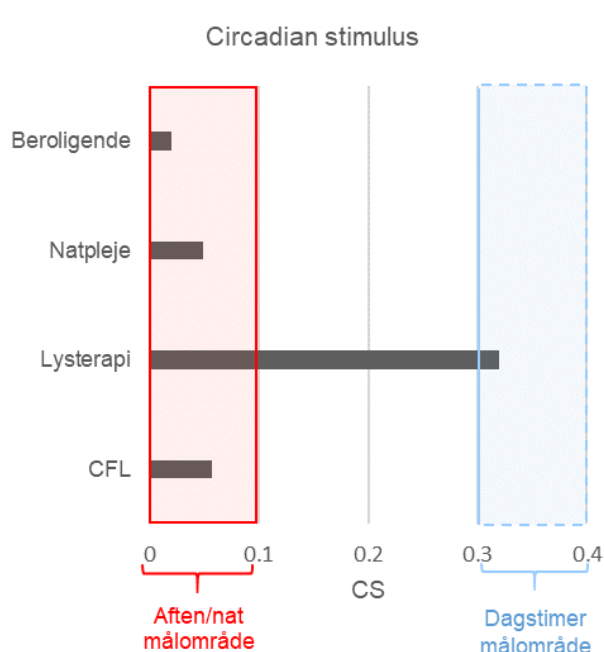
De fotometriske resultater viser tydelig forskel på eksisterende belysningsanlæg og det nye LED-belysningsssystem. Med det nye system er det nemmere at opnå højere lysniveauer, og farvetemperaturer kan ændres. Eksisterende belysningsanlæg (middelværdi 80,2 lux, målt 0,85 m over gulv) overholder ikke minimumskravene fra DS/EN12464-1 i Tabel 5.39, Afsnit 5. Der var en lampe placeret i midten af rummets loft, hvor skærmen ikke er rengjort indvendigt i længere tid. Med det nye LED-belysningsanlæg, kan lysscenariet "Lysterapi" (middelværdi = 431,4 lx) sikre 100 lux for "almen belysning" i hele rummet. Når det kommer til "læsebelysning" og "belysning for enkle undersøgelser", kræves en belysningsstyrke på mere end 300 lx. Dette kan opnås med lysscenariet "Lysterapi" de fleste steder i rummet.

"Natpleje", eller "observationsbelysning", overholder krav på 5 lx i hele rummet. "Beroligende"-scenariet, giver ikke tilstrækkeligt lys, da minimumsbelysningsstyrken er målt til mindre end 100 lx., krav jf. "Almen belysning".

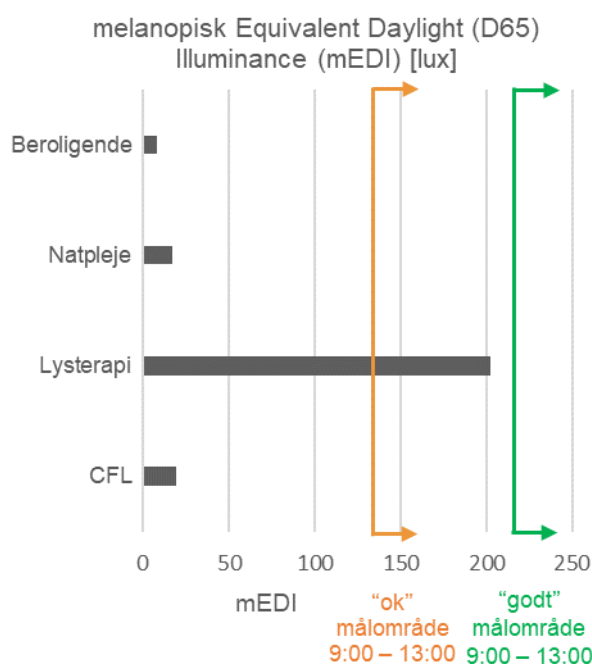
Men spørgsmålet er, om ikke belysningen kan klassificeres som særbelysning, da scenariet er specielt ønsket, selvom det ikke er muligt at programmere anlægget til at yde den krævede belysningsstyrke.

Der vil kunne opstå en risiko for blænding med en UGR-værdi = 18,5, defineret som Unified Glare Rating (UGR). "Lysterapi" scenariet er tæt på grænsen ifølge Tabel 5.39 i Afsnit 5 i DS/EN 12464-1 med maksimal UGR = 19,0. Se bilagsrapport nr. 3 for dybere gennemgang af fotometriske resultater.

Med de målte data er det muligt at undersøge, om belysningen bidrager med et tilstrækkeligt lysspektrum og intensitet for stimulering af borgernes fotoreceptorer på nethinden og absorbering af den rigtige mængde lys på det rette tidspunkt. Melanopsin i iboende lysfølsomme retinale ganglionceller (ipRGCs) aktiveres af stærkt blåt lys og er en hovedfaktor til undertrykkelse af melatonin (søvnhormon) om dagen. Der er kendskab til to målevidenskaber til definering af lysets cirkadiske potentiale hos mennesker. Den ene er Circadian Stimulus (CS) udviklet af Lighting Research Institute (LRI). CS skal være højere om dagen og lav om aftenen/natten. Den anden er melanopisk ækvivalent dagslysbelysningsstyrke (melanopic Equivalent Daylight (D65) Illuminance, forkortelse mEDI) angivet i lux og udviklet af CIE. D65 står for en standardreference af dagslys med en farvetemperatur på 6500K, som ligner spektralfordelingen af en overskyet himmel. Andre lyskilder med anden spektralfordeling er omregnet til melanopisk EDI igennem deres dagslyseffektivitetsforhold DER. Døgnrytmebelysning er et udviklingsområde, hvor der endnu ikke foreligger mange anbefalinger. WELL Building Standard v2 har dog udgivet anbefalinger for melanopisk EDI. Hvis der skal sikres en "god" melatonin-undertrykkelse om dagen, skal der opnås mindst 218 melanopisk EDI i øjenhøjde mellem kl. 9:00 og kl. 13:00.




Figur 2-5 – CS for vertikalt punkt simuleret i DIALux (1,2 m over gulv for en potentiel iagttager siddende i sengen) for de spektrale målinger af de 4 lysscenarier. Målområderne er erfaret ud fra LRI.



Figur 2-6 – Estimeret mEDI på baggrund af vertikalt punkt simuleret i DIALux (1,2 m over gulv for en potentiel iagttager, siddende i sengen) af de 4 lysscenarier. Målområderne er WELL v2 Standard.

Af Figur 2-6 ses, at med "Lysterapi" opnås det næstbedste målområde på 202,3 melanopisk EDI i sengestuen. Da der kun er målt spektrale data lige under armaturet, er der anvendt en simuleret vertikal belysningsstyrke beregnet via DIALux i øjenhøjde med en siddende person i sengen (højde 1.2 m) for at give et mere reelt billede af, hvordan lyset opfattes. Bedste effekt for det cirkadiske system i dagtimerne opnås med CS mellem 0,1 og 0,4. Figur 2-5 viser, at den eneste indstilling, som lever op til denne anbefaling, er "Lysterapi" målt for wallwasher. "Natpleje" befinder sig i den ønskede målområde for CS om aftenen/natten. Ud over de målte data, så er det personlige og brugeradfærdsmæssige perspektiv for både beboer og personale også blevet undersøgt. Udpluk af resultatet af interviews/spørgeskemaer ses i Tabel 2-2.

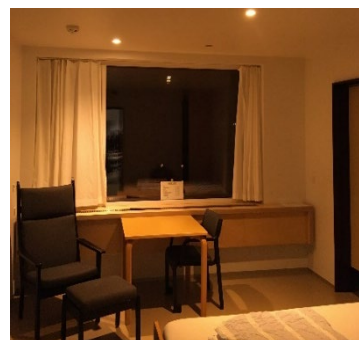
Tabel 2-2 - Overblik over kommentarer fra de semi-strukturerede interviews med personalet på Vikærgården. Tabellen indeholder kommentarer om både det traditionelle og det nye belysningsssystem

TRADITIONELLE BELYSNINGSSYSTEM		NYT LED-BELYSNINGSSYSTEM	
	<ul style="list-style-type: none"> Rart at være i 		<ul style="list-style-type: none"> Behageligt om dagen – Mere personlig energi Påvirket positivt med bedre søvn Ro, tryghed og dæmpet stemmeleje Føles naturligt "Var selv lidt negativ (nejhat), men overraskende naturligt" 100% af de deltagende vil anbefale døgnrytmebelysningen til andre Dæmpning af lys om aftenen er godt for borgerne
	GODT		

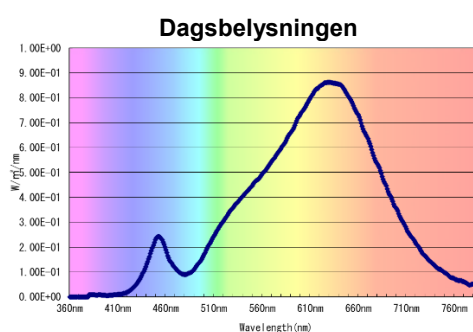
Med denne metode kan det ikke eftervises, om der kan være udfordringer med manglende belysning i hjørner. Med den elektriske belysning om dagen opnås en middelværdi på 253 lx ud fra målepunkterne på centerlinjen i rummet, som er i overensstemmelse med de 100 lx for "almen belysning" ifølge Tabel 5.39, Af-snit 5 i DS/EN 12464-1.

Natbelysningen giver en middelværdi på 100 lx i sengestuen, som giver nok lys til "natobservation". Belysningen lever dog ikke op til kravene til "læsebelysning" samt "belysning ved enkle undersøgelser" på minimum 300 lux, da middelværdien er 253 lx fra punkterne på centerlinjen.

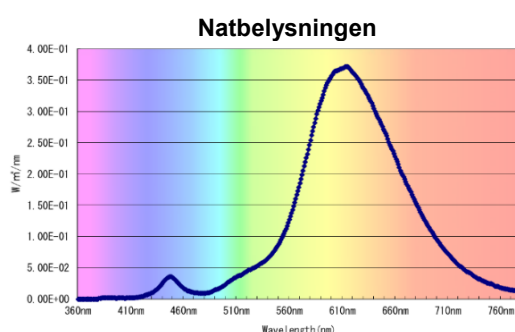
Spektrale fordelinger (SPD) er målt for Psykiatrisk Hospital i Slagelse a to om-gange (det understreges at de præsenterede spektrale målinger nedenfor er ikke målt under samme forhold som de fotometriske målinger). Sengestuen, hvor de spektrale målinger er foretages, kan ses af Figur 2-11. Der ses en tydelig forskel på nat og dagsindstillingen. For dagsindstillingen er målt en farvetemperatur på 2474K, hvorimod der for natindstillingen er målt 1746K. Forskellen mellem natmålingen og dagsmålingen, kan ses af Figur 2-12 og Figur 2-13. Dagsindstillingen viser et tydeligere peak i det blå spektrum, end for natbelysningen. Derved er der mindre blå lys om natten i forhold til lyset om dagen.



Figur 2-11 - Testmålinger for spektrale informationer i en anden patientstue
Foto: Inger Erhardtson

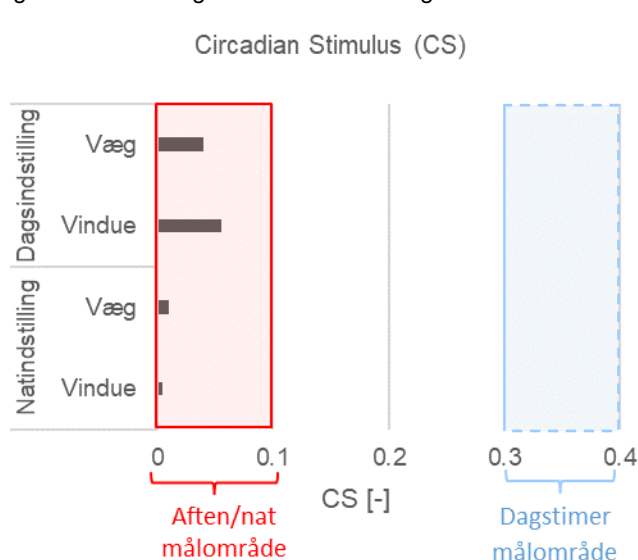


Figur 2-12 – SPD for dagsbelysningen

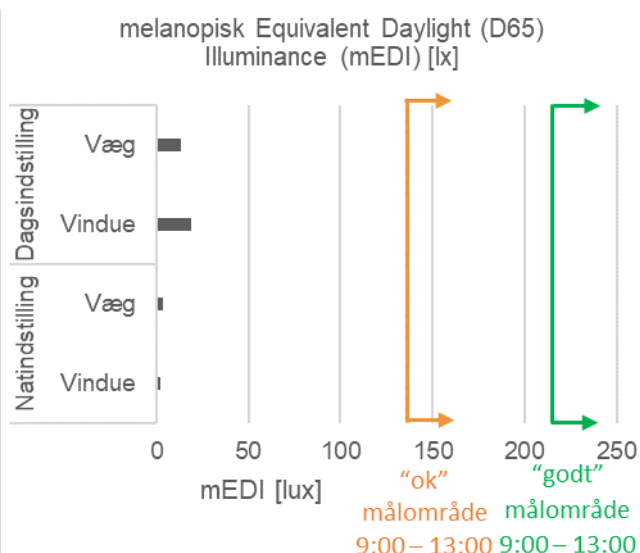


Figur 2-13 - SPD for natbelysningen

Om belysningen bidrager med tilstrækkeligt spektrum og intensitet til at stimulere borgernes fotoreceptorer så de absorberer den rigtige mængde lys på det rette tidspunkt, bestemmes ud fra samme procedure for melanopisk EDI og CS som også er anvendt og beskrevet for Vikærgården.



Figur 2-14 - CS for spektrale målinger for dags- og natindstillingen som Figur 2-9. Målingerne er foretaget fra to forskellige positioner – begge i en højde for en potentiel iagttager i 1.2 m. En position er rettet mod væg modsat sengen og en position rettet mod vinduet. Målområderne er erfaret ud fra LRI



Figur 2-15 – mEDI for spektrale målinger for dags- og natindstillingen. Målingerne er foretaget fra to forskellige positioner – begge i en højde for en potentiel iagttager i 1.2 m. En position er rettet mod væg modsat sengen og en position rettet mod vinduet. Målområderne er WELL v2 Standard

For dagslysindstillingen opnås langt fra de ønskede melanopisk EDI og CS som vist af Figur 2-14 og Figur 2-15. Her opnås der for retningen mod vinduet 26 mEDI, hvilket er langt fra de ønskede 218 mEDI. Derimod befinder natindstillingen sig i det ønskede målområde for CS som vist på Figur 2-14. Her er CS mindre end 0.1, hvorved melatoninniveauet øges.

For Psykiatrien i Slagelse er data fra spørgeskemaerne også analyseret. Et kort overblik over hvordan de to anlæg opleves og betjenes er belyst nedenfor i Tabel 2-3.

Tabel 2-3 - Overblik over kommentarer fra de semi-strukturerede interviews med personalet på Psykiatrien i Slagelse.

LED-BELYSNINGSSYSTEM		
	GODT	<ul style="list-style-type: none"> • Sænket stemmeleje • Positiv indflydelse • Arbejdsbelysningen er god • Kan godt lide tanken bag systemet
	SKIDT	<ul style="list-style-type: none"> • Gangarealerne og stuerne er for mørke om aftenen og natten • "Der er et grimt gult lys på sengestuerne" • For gult eller for skarpt i både fællesarealer og personalerum • Dæmper ikke i personalerum • Mangler viden om effekten • Teknikken virker ikke optimal • Mørkt i kroge • Halvdelen af deltagerne oplevede ugentlig eller månedlige udfordringer med brugen af systemet • Implementeringen af systemet er ikke ideel
	FORSLAG TIL FORBEDRINGER	<ul style="list-style-type: none"> • Forøge lyset i gangarealerne • Mal de sorte overflader hvide (opfattes mere sikkert) • Skift det gule lys • Ændre udsende og funktion af de forskellige knapper på afbryderen; lige nu er der for mange knapper uden identifikation af, hvad de hver især betyder • Tilføj en funktion, som dæmper lyset • Tilbyd personalet en ordentlig gennemgang - udarbejd illustrationer og information vedr. belysningsystemet og dets funktioner

2.4 Overordnede konklusioner

- Kontrollen af belysningen via de anvendte afbrydere giver problemer i begge cases. Det er vigtigt at brugerne af systemet er nemt at styre og kontrollere i den travle hverdag. Man kan derved undgå, at anlægget ikke bruges optimalt, hvilket både har betydning for energiforbruget og brugernes velbefindende.
- Formålet med belysningen skal kommunikeres og beskrives tydeligt ifm. implementeringen af anlægget.
- Der skal nemt kunne laves ændringer og tilpasninger i selve skemaet for farvetemperatur (CCT) og belysningsstyrker på Vikærgården, da lyset opfattes for lavt til udførelse af visse arbejdsopgaver om aftenen og natten.
- Det er vigtigt at inddrage interessenter og sikre, at anlægget nemt kan justeres ud fra de oplevelser, som både borgere og ansatte oplever, af flere omgang.
- Med den nuværende belysning opnår Psykiatrien Slagelse ikke de anbefalinger, som findes i forhold til melanopisk belysningsstyrke (melanopisk EDI). I nogle situationer ej heller de krævede belysningsniveauer.
- Hverken Psykiatrien i Slagelse eller Vikærgården i Aarhus har etableret dagslysregulering, hvilket har en stor betydning for energiforbruget, da lyset kan være skruet op eller være tændt i perioder, hvor det er unødvendigt.
- Hvis der etableres tilstedeværelsessensorer på sengestuer med manuel tænding og automatisk slukning efter et givent tidsrum, vil der kunne opnås yderligere besparelser.

3 VISUELLE TESTS

3.1 Introduktion til studiet

Med udviklingen af nyere teknologier inden for lysstyring er det blevet udbredt, at belysningen ikke kun har til formål at imødekomme synsmæssige behov, men derudover også stimulerer andre ikke visuelle menneskelige faktorer, såsom vores døgnrytme.

Nyere viden om, hvordan lyset påvirker os, gør os i stand til at tilpasse lyset, så det i højere grad er muligt at stimulere menneskelige faktorer ud over de visuelle. Der har gennem tiden været fokus på at belyse de områder og flader, hvor visuelle funktioner skal foregå, og lysdesign har derfor mest af alt været en praksis i optimering af energimæssig ydeevne og opfyldelse af regler. Belysning af fladerne i arbejdszonen er centralt i kravene, men i takt med at ny viden genereres, forventes lysstyring og design i højere grad at inddrage andre aspekter, som lyset har indvirkning på. Her vil det centrale være, hvordan lyset opleves eller opfattes og i det hele taget påvirker os mennesker, frem for hvor meget lys der reelt er på den horisontale arbejdsflade. Det væsentlige i henseender, der har med de ikke-visuelle faktorer at gøre, er det lys, der rammer nethinden. Dette gælder også for belysning, der har til hensigt at regulere døgnrytmen dynamisk.

Studiet omkring rumlig lysopfattelse ved belysning af vertikale eller horisontale overflader indgår således som en del af projekt "Dynamisk døgnrytmelys", og det har fokus på brugeropfattelsen og rumlig lysopfattelse. Test udført og beskrevet her har til formål at beskrive sammenhænge i rumlig lysopfattelse ved belysning af vertikale eller horisontale overflader. Hensigten er at komme nærmere en afklaring af, hvorvidt og hvor meget lyset i det horisontale plan kan reduceres ved at kompensere med lys på vertikale flader, for at den rumlige lysopfattelse stadig er den samme. Dette er især interessant for lysdesignere og øvrige dimensionerende af belysningsanlæg. Hypotesen for de udførte test var:

"Fokus på belysning af vertikale overflader (f.eks. vægge) kan resultere i en forøget rumlig lysopfattelse end ved kun at fokusere på belysning af horisontale overflader. Med fokus på belysning af vertikale overflader kan kravene til belysning af horisontale overflader, der dikteres af relevante standarder, reduceres, mens belysningen stadig skaber den samme, rumlige lysopfattelse."

Den vedlagte Rapport "Perceived spatial brightness when lighting up vertical or horizontal surfaces" er udfærdiget på engelsk for at gøre resultaterne lettere tilgængelig for diverse internationale lysinteresserede.

3.1.1 Anvendt metode

Der blev udført fotorealistiske visualiseringer af en plejehjemsgang og en sengestue. En sammenligningstest af visualiseringerne blev derefter udført. Testdeltagerne skulle differentiere og vælge mellem forskellige simulerede lysscenerier. Dette blev udført for belysnings-scenerier med både fuldspektrum belysning (FSL) og belysning med formindsket stråling i det korte bølgelængdebånd (blåt lys) (reduceret spektrum belysning, RSL).

Den innovative fremgangsmåde er baseret på en metode, der er udviklet og brugt i en tidligere undersøgelse udført ved Institut for Bygget Miljø, Aalborg Universitet i København (Fontoynt et al., 2017). Tidligere forsøg viste at for at spare energi er vi nødt til at foreslå belysningsløsninger med mere kontrast – både på det horisontale plan og på vertikale plan som vægge. Det blev vurderet at høj ensartethed ikke skulle betragtes som den første prioritet for at opnå en energibesparelse og et tilvalg af belysningsløsningen (Fontoynt et al., 2017). Som for de tidligere undersøgelser blev de fotorealistiske visualiseringer også her vist på en kalibreret projektion på en skærm placeret foran 4 forsøgsparticipanterne ad gangen. Forsøgsparticipanterne vurderede scenarier med hovedsageligt vertikalt belyste overflader op imod en reference med belysning kun fra downlights, der hovedsageligt oplyste rummets horisontale overflader (det horisontale plan).

De viste testscenerier er listet i Tabel 3-1.

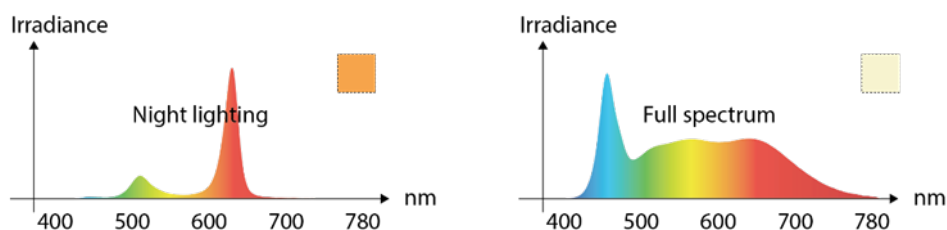
TABEL 3-1. Koncept for de simulerede scener til de to forskellige rumtyper. Test blev udført både under fuld spektrum belysning (FSL) og reduceret spektrum belysning (RSL).

Sengestue		Gangareal	
Horisontalt belyste overflader (downlight ref.)	Vertikalt belyste overflader (wallwash sammenligning) - lux niveau -	Horisontalt belyste overflader (downlight ref.)	Vertikalt belyste overflader (wallwash sammenligning) - lux niveau -
50 lux på gulvet	10 lux på gulvet	50 lux på gulvet	20 lux på gulvet
	20 lux på gulvet		30 lux på gulvet
	27.5 lux på gulvet *		40 lux på gulvet
	40 lux på gulvet		50 lux på gulvet **
	50 lux på gulvet		60 lux på gulvet
	60 lux på gulvet		70 lux på gulvet

* 27,5 lux blev valgt i stedet for 30lx. I denne indstilling var billedets gennemsnitlige luminans den samme som i referencebilledet for en downlight-løsning, baseret på den gennemsnitlige pixelværdi beregnet af Photoshop Histogram-værktøj. Dette var tilfældet under både fuldspektrum belysning (FSL) og reduceret spektrum belysning (RSL).

** 50 lux wallwash-variation havde den samme gennemsnitlige luminans af billedet som referencebilledet for en 50 lux downlight-løsning. Derfor varierer billederne i gangarealscenariet med belysningen af vertikale overflader med hele 10 lux-intervaller på gulvet. Dette var tilfældet under både fuldspektrum belysning (FSL) og reduceret spektrum belysning (RSL).

Spektralfordelingen af lyset, der anvendes om natten, når dynamisk belysning introduceres og installeres i praksis, er typisk reduceret i det blå område. Det blev derfor besluttet at teste her ved to forskellige spektrale variationer: et fuldspektret og et reduceret spektralt spektrum (Figur 3-1). Figur 3-2 viser hvordan forsøgspersonerne sammenlignede de fotorealistiske visualiseringer. Test blev udført i AFRY's lokaler i Århus. Sekvenserne af rækkefølgen, hvorved billederne blev vist, blev balanceret i forsøgene som beskrevet i den fulde engelsksprogede rapport.



Figur 3-1 - Principiel skitsering af LED-spektralfordelingen (SPD) for de testede lysscenarier. På venstre side et belysningsscenarie uden korte (blå) bølgelængder og på højre side et fuldspektrum belysningsscenarie

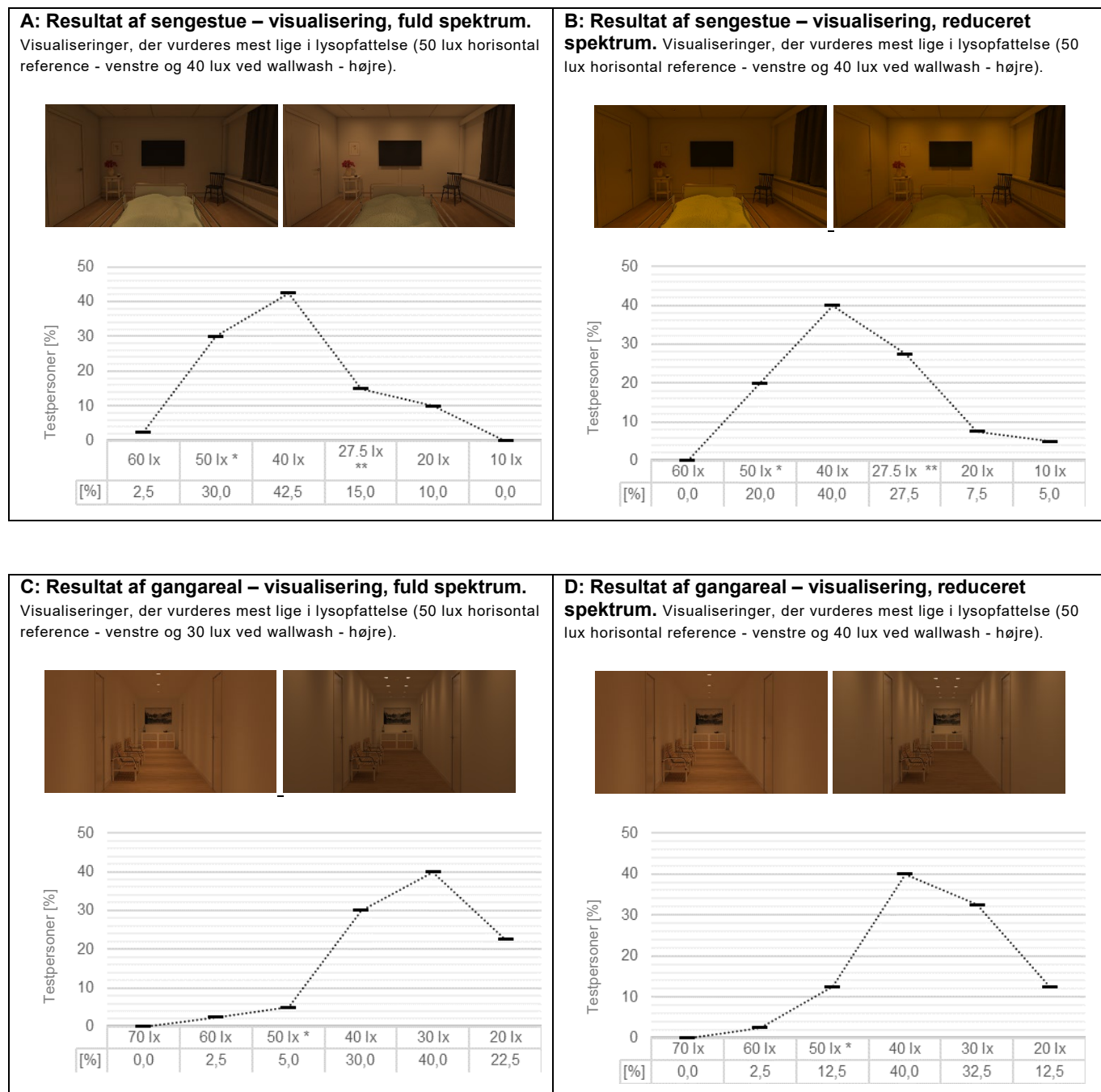


Figur 3-2 - Testsession i gang - Scenarie 3 (gangareal RSL), dias 3.B, testsession (A). (Projiceret sort baggrund ser blå ud grundet af kamera-kvaliteten) Foto: Nikodem Derengowski

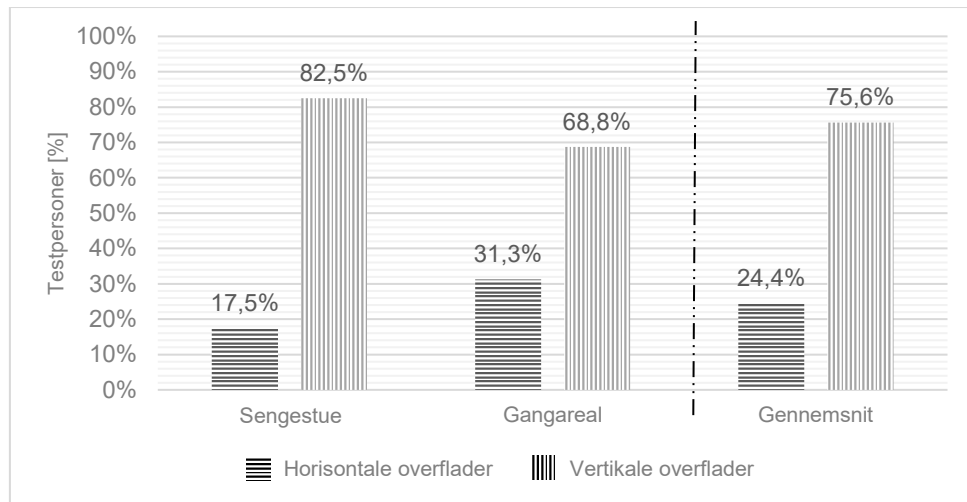
3.2 Sammendrag af resultater

Resultatet af testene viser, at der i høj grad vurderes at være den samme lyshed i billederne, hvor wallwasher-visualiseringen resulterer i et lavere luxniveau horisontalt end referencen med downlight og 50 lux på den horisontale flade. Lys på vertikale flader kan således kompensere for, at der ikke er det samme horisontale lysniveau, når det gælder den oplevede lyshed. Dette gælder i alle de testede situationer (Figur 3-3 A-D).

Der blev i testene også spurgt ind til, om man foretrækker scenarierne, hvor belysningen var foretaget med wallwasher eller der hvor belysningen var foretaget med downlight (referencen). Der var i besvarelsen en klar præference for belysningsstrategien med wallwasher, der lyser de vertikale flader op (Figur 3-4)



Figur 3-3 - Resultat af antal deltagere, der vurderer, at der er den samme lyshed i billederne. Resultat er opdelt i de forskellige test scenarier: sengestue – visualisering, Fuld spektrum (A), sengestue – visualisering, reduceret spektrum (B), gangareal – visualisering, Fuld spektrum (C) og gangareal – visualisering, reduceret spektrum (D).



Figur 3-4 - Fordeling af deltagere [%], der foretrækker hhv. en vertikal og en horisontal belysningsstrategi – her vist for de to forskellige rumtyper og et gennemsnit.

3.3 Overordnede konklusioner

Følgende er de vigtigste konklusioner fra testen:

- Ved brug af belysning af vertikale flader med indirekte belysning af gulvplanet, kunne det horisontale belysningsniveau sænkes, mens man stadig kunne opnå samme opfattede lysniveau som i referencescenariet med belysning fra direkte lysende downlights.
- Der er behov for yderligere tests for at få mere præcise indikering af, hvor meget luxværdierne fra scenarierne med wallwasher kan dæmpes til for stadig at opnå den samme opfattelse af lysniveau som ved downlight-scenariet.
- Ved en almen belysning (ikke opgavespecifik eller funktionel) kan det være en fordel for brugerne at bruge eller supplere med wallwashers, da scenarier med wallwasher blev foretrukket frem for downlights. For opgaver, der kræver specifikke horisontale lysniveauer i henhold til DS/EN 12464-1: 2011, kan det være nødvendigt med downlights for at opnå de krævede horisontal belysningsstyrker effektivt.
- Det blev fundet, at rumgeometri påvirker opfattelsen af belysningsmetoden. I både FSL og RSL-scenarierne (fuldspektrumbelysning og reduceret spektrumbelysning) af sengestuen var der højere præference for wallwashers frem for downlights. I gangscenarierne var der en lignende tendens, omend ikke i lige så udpræget grad som i sengestuen.
- Når man sammenlignede resultater mellem belysningsscenarier for fuld- og reduceret spektrum for begge simulerede rum, var der ingen signifikant forskel. Belysningsspektret havde i denne testopstilling derfor ikke betydning for den rumlige lysopfattelse.

Yderligere test er nødvendig for at skabe en forbindelse mellem energiforbruget, belysningsniveauer (vertikal og horisontal) og rumlig lysopfattelse i de forskellige scenarier.

4 ENERGIFORBRUG BASERET PÅ CASESTUDIER



4.1 Beregninger fra casestudier

Beregning af energiforbrug er udført for sengestuer i henholdsvis Psykiatrien i Slagelse, Psykiatrien i Skejby og på Vikærgården i Aarhus. Disse er udført ved brug af et Excel arbejdsark opbygget med data fra DS/EN15193:2007.

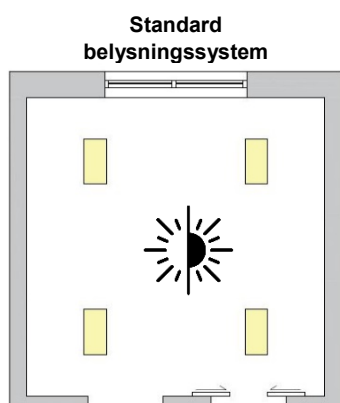
For hvert projekt er der udført tre forskellige beregninger med hver sine belysningsforudsætninger. Det drejer sig om

1. Et standard reference belysningssystem (uden døgnrytmelys) jf. danske standarder, inkl. dagslysregulering jf. § 382 i BR18 (med fastsat middelværdi for belysningsstyrker i en højde af 0.85 m på minimum 300 lx for dagtimer og 100 lux for nattimer). Med fire LED armaturer samt dagslysregulering. Standardanlægget er indstillet til at være tændt i 3000 timer i dagtimerne, svarende til 8.2 timer pr. dag og 1000 timer i løbet af natten, svarende til 2.7 timer pr. nat.
2. Det andet system, er det eksisterende anlæg installeret på de pågældende lokationer for casestudierne.
3. Det tredje belysningssystem er det eksisterende anlæg med anbefalet optimering af systemet. For Skejby er der tale om en almindelig systemopbygning (uden døgnrytmelys) og det nyetablerede belysningssystem med døgnrytmelys

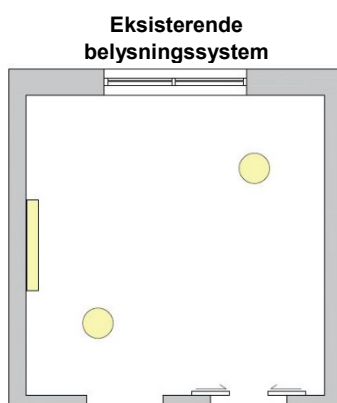
4.1.1 Vikærgården

Det eksisterende belysningssystem på Vikærgården består af to cirkulære RGB LED loftarmaturer og en "wallwasher". De to forskellige armaturtyper har omtrent de samme egenskaber. Disse er nærmere beskrevet i Afsnit 3.3 i hovedrapporten (som er på engelsk). For det anbefalede belysningssystem er der tilføjet dagslysstyring  og tilstedeværelsessensor . Det er antaget for det eksisterende anlæg, at den elektriske belysning er tændt i 13,5 timer i dagtimerne med lysindstilling for dagsbelysning, og 5 timer med lysindstilling for natbelysningen for et typisk dagligt energiforbrug. Det medfører henholdsvis 4927,5 timer for dagsbelysningen og 3000 timer for natbelysningen årligt.

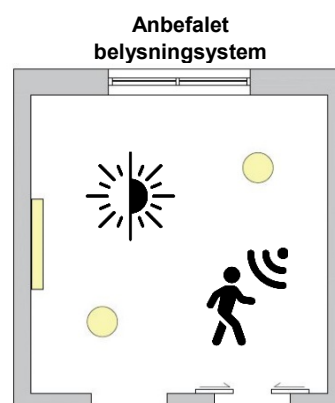
De tre forskellige systemer, der er beregnet på vedr. Vikærgården, er illustreret i Figur 4-1 - Figur 4-3.



Figur 4-1 - Et standardbelysningssystem med fire LED paneler placeret i to rækker i sengestuen og dagslysregulering.



Figur 4-2 – Eksisterende belysningssystem med to forskellige typer armaturer. To cirkulære loft- armaturer og en "wallwasher".



Figur 4-3 – Anbefalet belysningssystem - samme armaturer som eksisterende anlæg, + PIR-føler og dagslysstyring.

Tabel 4-1 - Det beregnede energiforbrug for Vikægården, med udgangspunkt i DS/EN 15193 med de forskellige specifikationer for de tre belysningssystemer – Et standardbelysningssystem, det eksisterende belysningssystem og et anbefalet belysningssystem.



	Standard Reference	Eksisterende	Anbefalet	Eksisterende, justeret timeantal	Anbefalet, justeret timeantal
Dag (DF = 1,4%), (Middelbelysningsstyrke -->)	300 lux	47 - 311 lux	47 - 431 lux	47 - 431 lux	47 - 431 lux
Antal brænd-timer	3000 timer	4927,5 timer		3000 timer	
Antal Armaturer	4 (4 loft)	3 (2 loft + 1 wallwasher)		3 (2 loft + 1 wallwasher)	
Effektforbrug pr. armatur	27 W	*(24 - 131 W)		*(24 - 131) W	
Dagslysregulering	JA	NEJ	JA	NEJ	JA
Tilstedeværelses-sensor	NEJ	NEJ	JA	NEJ	JA
Årligt energiforbrug, dagtimer	181,4 kWh	381,4 kWh	170,8 kWh	232,2 kWh	104,0 kWh
Nat (Middelbelysningsstyrke -->)	100 lux	26 lux	26 lux	26 lux	26 lux
Antal brænd-timer	1000 timer	1825 timer		1000 timer	
Antal armaturer	4 loft	1 wallwasher		1 wallwasher	
Effektforbrug pr. armatur	8,1 Watt	5,4 W		5,4 W	
Årligt energiforbrug, natbelysningen	32,4 kWh	9,9 kWh	7,9 kWh	5,4 kWh	4,3 kWh
Samlet årligt energiforbrug (Dag + Nat)	213,8 kWh	391,2 kWh	178,7 kWh	237,6 kWh	108,3 kWh
**LENI (for rum på 15,65 m²)	13,7 kWh/m ²	25,0 kWh/m ²	11,4 kWh/m ²	15,2 kWh/m ²	6,9 kWh/m ²
Forbrug sammenlignet med Standardanlæg		-83,0%	16,4%	-33,0%	39,4%
Forbrug sammenlignet med Eksisterende anlæg			54,3%		54,4%

* Indikerer forskellige styrker for armaturgrupperne, idet forskellige lysscenarier med forskelligt spektrum og belysningsstyrker er anvendt for hele døgnet

**LENI: Årlig energinumerisk indikator for belysning i en bygning (engelsk: Annual Lighting Energy Numeric Indicator)

Når standardbelysningssystemet sammenlignes med de to andre systemer, ses der en bemærkelsesværdig forskel i elforbruget. Til det anbefalede belysningssystem anvendes der en PIR og dagslyssensor, som medfører et lavere elforbrug. PIR og dagslyssensoren er med logikken manuel ON & Automatisk OFF med type VI-dagslysregulering. Det eksisterende anlæg bruger mere end 83% energi end et standard reference anlæg, hvis anlægget vel at mærke er tændt i alle de programmerede timer, hvilket kan være gældende uden dagslysregulering. Det anbefalede anlæg, med dagslysregulering (dagslysafhængighedsfaktor på 0.56) og en tilstedeværelsessensor (fraværsfaktor på 0.2), giver en elbesparelse på 16.4% i forhold til standardreferenceanlægget (dog med en markant forskel i antal timer anlægget er i brug) og 54.3% elbesparelse i forhold til det eksisterende anlæg. Hvis antallet af timer ændres for det anbefalede system til at være i overensstemmelse med referenceanlægget opnås der dog en samlet elbesparelse på 39.4%.

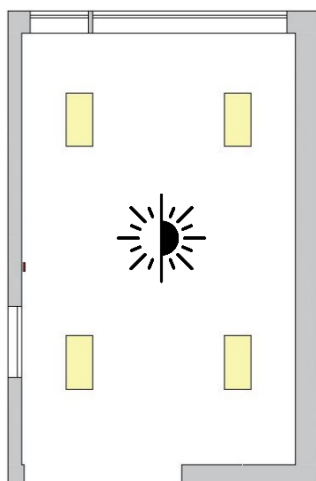
4.1.2 Psykiatrien i Slagelse

Det eksisterende belysningssystem på Psykiatrien i Slagelse består af to forskellige typer LED-downlights/spot med forskellige farvetemperaturer og effekt (specifikationer er yderligere beskrevet i afsnit i hovedbilag (på engelsk)). For det anbefalede belysningssystem er der tilføjet en tilstedeværelses-sensor  og dagslysregulering  for at justerer lyset fra omgivelserne.

Det er antaget, at den elektriske belysning gennemsnitligt er tændt i 8,2 timer i dagtimerne med lysindstilling for dagsbelysning og 2,8 timer med lysindstilling for natbelysningen for et typisk dagligt elforbrug. Det medfører henholdsvis 3000 timer for dagsbelysningen og 1000 timer for natbelysningen årligt.

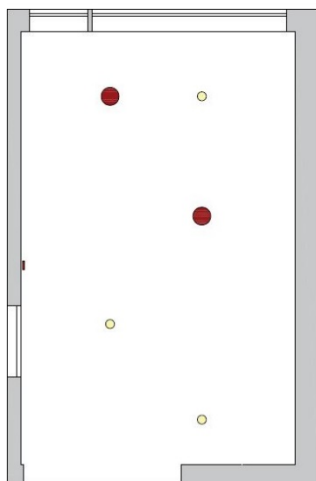
De tre forskellige systemer, der er beregnet på vedr. Psykiatrien i Slagelse er illustreret i Figur 4-4-Figur 4-6.

Standard belysningssystem



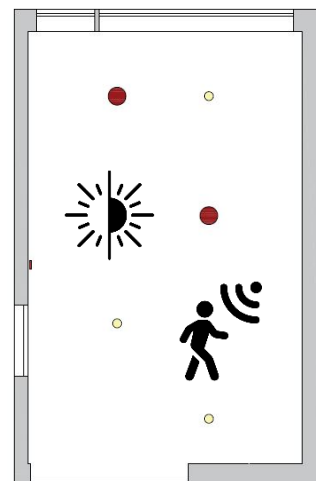
Figur 4-4 - Standard belysningssystem med fire LED paneler i loftet i sengestuen og installeret med dagslysregulering.

Existerende belysningssystem



Figur 4-5 - Eksisterende belysningsanlæg med to forskellige typer af LED-spots

Anbefalet belysningssystem



Figur 4-6 -Det anbefalede anlæg med lysinstallationer som eksisterende, + PIR bevægelsessensor og dagslysstyring.

Tabel 4-2 - Det beregnede elforbrug for Psykiatrien i Slagelse, med udgangspunkt i DS/EN 15193 [1] med de forskellige specifikationer for de tre belysningssystemer – Et standardbelysningssystem, det eksisterende belysningssystem og et anbefalet belysningssystem

	Standard, reference	Eksisterende	Anbefalet
Dag (DF = 1,4%), (Middelbelysningsstyrke -->)	300 lux	218 lux	218 lux
Antal brænd-timer	3000 timer	3000 timer	
Antal armaturer	4 (Loft)	3 (Loft)	
Effektforbrug pr. armatur	18.1 W	19.5 W	
Dagslysregulering	JA	NEJ	JA
Tilstedeværelses-sensor	NEJ	NEJ	JA
Årligt forbrug, dagtimer	98.5 kWh	175.5 kWh	64.9 kWh
Nat (Middelbelysningsstyrke -->)	100 lux	135 lux	135 lux
Antal brænd-timer	1000 timer	1000 timer	
Antal armaturer	4 loft	2 loft	
Effektforbrug pr. armatur	6 Watt	10.5 Watt	
Årligt elforbrug, natbelysningen	24.0 kWh	21.0 kWh	16.8 kWh
Samlet årligt elforbrug (Dag + Nat)	122.5 kWh	196.5 kWh	81.7 kWh
*LENI (for rum på 15,65 m²)	8.2 kWh/m ²	13.1 kWh/m ²	5.4 kWh/m ²
Forbrug sammenlignet med Standardanlæg		-60,5%	33,3%
Forbrug sammenlignet med Eksisterende anlæg			58,4%

*LENI: Årlig energinumerisk indikator for belysning i en bygning (engelsk: Annual Lighting Energy Numeric Indicator)

Tabel 4-3 - Beregnet elforbrug for de tre belysningssystemer med en middel belysningsstyrke på 300 lx på gulv

Hvis de tre belysningssystemer skal opnå en middelbelysningsstyrke på 300 lux for dag og 100 lux for nat	Standard, reference	Eksisterende	Anbefalet
Samlet årligt elforbrug (Dag + Nat)	122.5 kWh	257.1 kWh	104.4 kWh
*LENI (for rum på 15,65 m²)	8.2 kWh/m ²	17.1 kWh/m ²	7.0 kWh/m ²
Forbrug sammenlignet med Standardanlæg		-109.9%	14.7%
Forbrug sammenlignet med Eksisterende anlæg			59.4%

Det eksisterende anlæg har et elforbrug som er 65% højere end standardanlægget, hvis antallet af timer, hvor anlægget er i brug, er tilsvarende standardanlægget og uden en dæmpningskontrol i forhold til dagslyset. Samtidig opnås en mindre

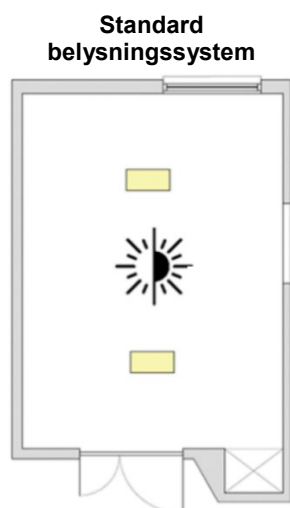
middelbelysningsstyrke for det eksisterende anlæg, som er 34% mindre end standardanlægget, men en 35% højere middelbelysningsstyrke for nattetimerne. Til det anbefalede belysningssystem anvendes der en dagslyssensor og tilstedeværelsessensor, som medfører et væsentligt lavere elforbrug. PIR og dagslyssensoren er med logikken manuel ON/Automatisk OFF med type VI-dagslysregulering. En sådan type VI-system dæmper belysningen til det laveste mulig niveau og slukker helt i tilfælde af, at der er tilstrækkeligt dagslys. Når anlægget igen kalder på lys, tændes der på automatik. Det anbefalede anlæg, med dagslysregulering (dagslysafhængighedsfaktor på 0,45) og registrering af tilstedeværelse (fraværsfaktor på 0,2), giver en estimeret elbesparelse på 33,3% i forhold til standardreferenceanlægget, og 58,4% elbesparelse i forhold til det eksisterende anlæg. Når belysningsstyrken justeres til 300 lx om dagen og 100 lux om natten, skal det eksisterende anlæg bruge mere end 109,9% energi end standardløsningen, men med det anbefalede system, hvor der reguleres efter dagslys og tilstedeværelse kan der faktisk opnås en elbesparelse på 14,7% i forhold til standardanlægget.

4.1.3 Psykiatrien i Skejby

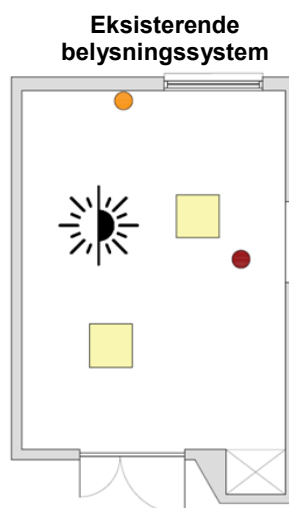
Belysningsanlægget på det Psykiatriske Center i Skejby skulle oprindeligt have været en del af undersøgelsen. Men grundet corona-restriktioner har det ikke været muligt at besøge centeret. Arbejdsgruppen har dog haft mulighed for at interviewe tekniske personale og har været i besiddelse af teknisk data for det eksisterende belysningssystem, som er anvendt til energiberegning af belysningsanlægget.

En sengestue på ca. 18 m². Det eksisterende belysningssystem består af to LED-paneler med mat opal akryl suppleret med en LED RGB wallwasher og en LED RGB-læselampe ved sengen. Det eksisterende belysningssystem er dagslysreguleret. Belysningen er tidsindstillet til morgen-, eftermiddags-, aften og natindstilling, hvormed CCT og belysningsstyrken ændres. Det er også muligt at ændre dette manuelt ved individuelle ønsker. Som en del af det anbefalede anlæg er tilføjet en tilstedeværelses-sensor. Det er antaget, at den elektriske belysning er tændt i 17 timer i dagtimerne og 2 timer om natten jf. det programmerede skema for belysningen. Det giver ca. 6205 timer for dagsbelysningen og 1000 timer for natbelysningen årligt.

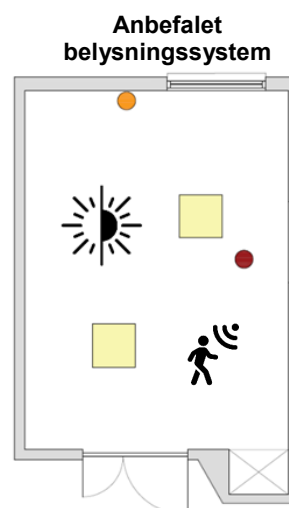
De tre forskellige systemer, der er beregnet på vedr. Psykiatrien i Skejby, er illustreret i Figur 4-7-Figur 4-9.



Figur 4-7
Standardbelysningssystemet med to LED-paneler placeret i sengestuen reguleret ud fra dagslyset (der opnås nok belysningsstyrke på 300 lux om dagen ved 2 LED-paneler, derfor ændret i forhold til de andre cases.



Figur 4-8
Det eksisterende belysningssystem med to LED-armaturer, en wallwasher og en læselampe ved sengen med et dagslysafhængigt kontrolsystem.



Figur 4-9
Det eksisterende belysningssystem med to LED-armaturer, en wallwasher og en læselampe ved sengen med et dagslysafhængigt kontrolsystem

Tabel 4-4 - Beregnet elforbrug på belysning for de to belysningsystemer baseret på DS/EN15193 - et standardbelysningsystem og det eksisterende belysningsystem

	Standard reference	Eksisterende	Anbefalet	Eksisterende, justeret timeantal	Anbefalet, justeret timeantal
Dag (DF = 1,4%), (Middelbelysningsstyrke -->)	300 lux	100-500 lux	100-500 lux	100-500 lux	100-500 lux
Timer	3000 timer	6205 timer		3000 timer	
Antal Armaturer	2 loft	4 (loft + wallwasher)		4 (loft + wallwasher)	
Effektforbrug pr. armatur	37 W	5-98 W		5-98 W	
Dagslysregulering	JA	JA	JA	NEJ	JA
Tilstedeværelses-sensor	NEJ	JA	JA	NEJ	JA
Årligt elforbrug, dagtimer	118,0 kWh	268,3 kWh	236,4 kWh	129,7 kWh	114,3 kWh
Nat (Middelbelysningsstyrke -->)	100 lux	10-100 Lux	10-100 Lux	10-100 lux	10-100 lux
Timer	1000 timer	730 timer		1000 timer	
Antal armaturer	2 loft	2 (wallwasher + Seng)		2 (wallwasher + Seng)	
Effektforbrug pr. armatur	12,3 Watt	5-18 W		5-18 W	
Årligt elforbrug, natbelysningen	24,7 kWh	1,86 kWh	1,49 kWh	2,6 kWh	2,0 kWh
Samlet årligt elforbrug (Dag + Nat)	142,6 kWh	270,18 kWh	237,89 kWh	132,3 kWh	116,3 kWh
*LENI (for rum på 15,65 m²)	7,9 kWh/m²	15,01 kWh/m²	13,22 kWh/m²	7,3 kWh/m²	6,5 kWh/m²
Forbrug sammenlignet med Standardanlæg		-89,4%	-66,8%	7,3%	18,4%
Forbrug sammenlignet med Eksisterende anlæg			12,1%		12,1%

*LENI: Årlig energinumerisk indikator for belysning i en bygning (engelsk: Annual Lighting Energy Numeric Indicator)

Med den nuværende skemalagte belysning for hele døgnet, bruger det eksisterende anlæg ca. 89% mere energi end standardanlægget hvis alt lyset er tændt hele tiden jf. programmerede tidsplan. Dette er selvom der er reguleret for dagslyset (dagslysfafhængighedsfaktor på 0,53). Dette reduceres til omkring 66,8% hvis der tilføjes en tilstedeværelsessensor (fraværsfaktor på 0,2). Nedjusteres antallet af timer til 3000 timer som standardanlægget (hvilket giver god mening, da alt lys normalt ikke vil være tændt hele tiden), giver det en reduktion på 7,3% i forhold til standardanlægget med dagslysstyring og en el besparelse på 18,4% ved implementering af tilstedeværelsessensorer.

4.1.4 Overordnede konklusioner

- Dagslys- og tilstedeværelses-sensorer bidrager betydeligt til en reduktion i elforbruget for belysningen i bygninger. Derfor anbefales det planlægge af belysningsinstallationer i sundhedsmiljøer til at tilføje disse kontrolsystemer, også ved etablering af dynamisk døgnrytmebelysnings anlæg, selvom sådanne installationer af nogle tolkes som værende speciel medicinsk belysning. **Derved kan der ved etablering af døgnrytmebelysning opnås el-besparelser på mellem 18% og 39%, sammenlignet med standard belysning anlæg.**
- Det er også observeret at dynamisk døgnrytme belysningsystemer, med tilnærmelsesvis identiske rum størrelser og driftstider, kan opnå LENI-værdi (Lighting Energy Numeric Indicator) på mellem 6,5 og 7,0 kWh/m² når de var udstyret med dagslysfafhængig dæmpning og tilstedeværelsessensor.
- Hvis det er muligt, bør belysnings elforbrug undersøges nærmere efter COVID-19 med mere detaljerede målinger for at opnå en dybere forståelse for de faktiske tal for elforbruget i sundhedsfaciliteter og en nyttig kontrol af standarden DS/EN 15193. Det vil åbne mulighederne for at lave en realistisk sammenligning med de estimerede beregninger.
- Etableres der separate grupper og bimålere for belysningsanlæg og deres styringer, så vil det kunne lette processen for målingerne. Det forventes, at dette vil medføre yderligere elbesparelser, da bygningsejere vil være i stand til at visualisere de ofte skjulte komponenter i bygningens elforbrug (f.eks. med et stort standby forbrug).

5 SAMLET KONKLUSION

I nærværende projekt har vi undersøgt udvalgte belysningsanlæg med henblik på at indsamle data om, hvordan de performer, på bl.a. brugervenlighed, energi- og lystekniske aspekter. Der er kortlagt forskellige energimæssige og visuelle forhold på 2 typer belysningsanlæg på Vikærgården, et korttidsopholdssted for rehabilitering i Aarhus. Et anden type døgnrytme belysningsanlæg på det Psykiatriske Hospital i Slagelse blev undersøgt på samme vis. Anlæggene er ligeledes blevet undersøgt for brugervenlighed, anvendelsesgrad og tilfredshed ved den efterfølgende daglige brug ud fra interview med både brugere og teknisk personale. Primært grundet Corona, har det ikke været muligt at udføre målinger og spørgeskemaundersøgelser på Psykiatrien i Skejby. Her har det dog været muligt at udføre energi beregninger og evaluering af tekniske forhold på grundlag af det tekniske udbudsmateriale og informationer fra tekniskansvarlige pr. telefon.

Granskning af casene fandt at der er et stort behov for klar kommunikation omkring formålet og brugen af belysningen og at implementeringen indbefatter at lyset justeres ind af flere omgange så mål opnås. Som eksempel kan nævnes at belysningen i en af de undersøgte cases ikke formåede at overholde anbefalinger, som findes i forhold til melanopisk belysningsstyrke (melanopisk EDI). Det blev også fundet at to af de tre cases ikke har etableret dagslysregulering og bevægelsessensorer i fuldt omfang, hvilket har en stor betydning for energiforbruget, da lyset kan være tændt i perioder, hvor det er unødvendigt. Det bevirker at energiforbruget til de pågældende anlæg er større, sammenlignet med elforbruget på et standard anlæg. Dette er et klart eksempel på at man i nogle tilfælde laver en avanceret funktionsbelysning men undlader at installere sensorer jf. krav fra bygningsreglementet, der kan have stor betydning for det årlige elforbrug.

Derudover er sammenhænge i rumlig lysopfattelse ved belysning af vertikale eller horisontale overflader blevet undersøgt. Her har ønsket været at forstå sammenhænge for hvordan forskellige belysningsstyrker opfattes i forskellige typer rum, særligt om aftenen og natten. Denne viden vil kunne bidrage til at vi i fremtiden i højere grad vil kunne designe og projektere ud fra hvordan vi opfatter lys, frem for blot at beregne resulterende belysningsstyrker (lux-niveauer) i det horisontale plan. På den måde kan man undgå for høje blændingsværdier og der er noget det tyder på at man også kan sænke lysniveauet generelt hvis vægfladerne er jævnt belyste. Test med visualiseringer viste at man ved brug af belysning af vertikale vægflader med indirekte belysning af gulvplanet, vil kunne sænke de horisontale belysningsstyrker (lux-niveauer), og stadig opnå samme lysopfattelse, som i referencescenarier med belysning fra direkte lysende downlights. I dette studie omkring rumlig lysopfattelse var energiforbruget dog ikke i fokus, da scenarierne primært var designet med og uden lys på vægflader. Her mangler der derfor stadig undersøgelser for at opnå en konkret viden om hvor stort potentialet for energibesparelser der for forskellige belysningsstrategier.

Ud over denne danske sammenfattende rapport, er der som en del af dette projekt udarbejdet to detaljerede forskningsrapporter omhandlende Case-studier og visuelle tests i sundhedsfaciliteter. Begge detaljerede rapporter er udarbejdet på engelsk for at give det internationale forskningsmiljø adgang til disse evalueringer.

Resultater fra undersøgelser målinger og besvarelser mm. har bidraget til nedenstående anbefalinger for fremtidige "best practice"-løsninger indenfor døgnrytmebelysningsanlæg. I skemaet indgår anbefalinger som har direkte indflydelse på energiforbrug, økonomi, drift/vedligehold, sikkerhed og ikke mindst trivslen på de forskellige arbejdspladser. Disse anbefalinger giver grundlæggende information ved etablering eller renovering af fremtidige energioptimerende døgnrytmebelysningsanlæg, men listen er dog ikke udtømmende for fokus punkter der er værd at overveje ved nye belysnings anlæg.

6 SKEMA MED ANBEFALINGER VED ETABLERING AF DØGNRYTMEBELYSNING

Projektfaser	Skema til bygherre:	Punktet har indflydelse på:			
	SKEMA MED ANBEFALINGER VED ETABLERING AF DØGNRYTMEBELYSNING	Økonomi	Energi	Drift	Trivsel & Sikkerhed
Før udbud:	<ul style="list-style-type: none"> - Klar og tydelig beskrivelse: Hvad belysningen skal anvendes til og hvordan vil vi bruge det? - Overvejelser, hvordan er installationsforhold: nybygning, renovering, metode, kan det eksisterende lys suppleres? - Økonomi. Hvad er der økonomi til? Alle rum? Fuld døgnrytmestyret anlæg eller andre alternativer? - Skal belysningen kunne tilpasses efter forskellige behov. (svagt syn, ældre, demente eller f.eks. hemmelig stemning) 	X		X	X
		X	X	X	
		X	X	X	X
		X		X	X
Ved udbud:	<ul style="list-style-type: none"> - Behovsbeskrivelse af funktioner, tidsintervaller, lys-niveauer, lyskvalitet mm. - Stille krav til lyskvalitet: flimrer, farvegengivelse, visuel oplevelse, ingen mørke områder - Sikre, at der er mulighed for at tænde for ekstra lys med god farvegengivelse i udvalgte situationer + akut situationer - Krav til styringssystem: responstid ved tryk, robust, brugervenlighed, nem og enkel betjening for brugere, åbne protokoller - Overholdelse af krav jf. BR18– Belysningsniveauer ved arbejde, dagslysregulering og egnede tilstedeværelsesfølere - Sikre, nem rengøring og vedligeholdelse af armaturer og at de er egnede til brugergruppen (hygge mm.) - Tydelig beskrivelse af, hvordan anlægget skal betjenes samt muligheder for nemt at tilrette og ændre lyssætninger løbende 	X	X	X	X
		X		X	X
		X		X	X
		X	X	X	X
		X	X	X	
		X		X	X
		X	X	X	X
Ved udførsel:	<ul style="list-style-type: none"> - Sikre løbende koordinering mellem eksisterende belysningsanlæg og døgnrytmebelysningsanlæg m.fl.. og leverandører, udførende og byggeledelse - Prøveopsætning og prøvemålinger af døgnrytmebelysningsanlægget, så alle parter er enige før udførslen 	X	X	X	X
		X		X	X
Ved afslutning:	<ul style="list-style-type: none"> - Sikre, at der udføres funktionsafprøvning af uvildig professionel tredjepart som foreskrevet - Sikre, at der udleveres relevant og forståelig drift- og vedligeholdelsesdokumentation og tydelige/enkle instruktioner - Sikre brugbar og pålidelig kontaktprocedure og kontaktperson for udbedring af fejl og løbende tilpasninger 	X	X	X	X
		X	X	X	X
		X	X	X	X
Efterfølgende drift:	<ul style="list-style-type: none"> - Sikre, at alt personalet er undervist og orienteret og forstår, hvorfor anlægget er udført (også nyansatte) - Sikre, at der er superbrugere blandt personalet som kan svare på alm. spørgsmål og små ændringer i dagligdagen - Sikre, at der er teknisk personale som kan supportere og tilpasse anlægget hurtigt og effektivt 	X	X	X	X
		X	X	X	X
		X	X	X	X

Figur 0-1 - Oversigt med anbefalinger i forbindelse med etablering af belysningsanlæg med komplekse styringer. I siden er anført med X for hvilke områder punkterne har indflydelse på. X markeret med fed har ekstra effekt.

